

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
\_\_\_\_\_ Кружаев В.В.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013

## ОТЧЕТ

### О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.1.1 Плана реализации мероприятий Программы развития  
УрФУ на 2013 год

#### ПО ТЕМЕ:

Исследование наблюдаемого распределения параметров тесных двойных звезд различных  
эволюционных классов  
(Заключительный)

Договор возмездного оказания услуг (выполнения работ, на создание произведения)  
№2.1.1.1/1

Зав.кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Кузнецов Э.Д.

Научный руководитель

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Локтин А.В.

Исполнитель

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Аввакумова Е.А.

Екатеринбург 2013

## РЕФЕРАТ

### 1. ФИО автора:

Аввакумова Екатерина Анатольевна

Avvakumova Ekaterina Anatolievna

### 2. Аннотация:

Предметом исследования являются тесные двойные системы, относящиеся к затменным переменным звездам, находящиеся на различных эволюционных стадиях.

Цель работы – разработка метода определения эволюционного класса звезд по результатам наблюдений.

В процессе работы исследовано распределение затменных переменных звезд различных эволюционных классов в пространстве их наблюдаемых параметров.

В результате исследования составлен каталог затменных переменных звезд, а также метод определения их эволюционного класса. Полученный метод апробирован на системах каталога, который на данный момент является крупнейшим списком звезд, классифицированных на основе наблюдений.

Каталог затменных переменных систем может быть использован для всестороннего изучения звезд и процесса их эволюции. Разработанный метод определения эволюционного класса позволит проводить классификацию звезд больших обзоров неба, поиски новых объектов, а также звезд, важных с точки зрения проверки положений теории звездной эволюции.

Каталог в электронной форме опубликован по адресу:

<ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/J/AN/334/860>.

Close eclipsing binary stars of different evolutionary types have been investigated.

The main goal was to develop the procedure for determination of evolutionary classes of eclipsing binaries based on their observable parameters. To construct the algorithm the analysis of the distribution of observable stellar parameters of eclipsing systems of different evolutionary classes has been performed.

As a result the catalogue of eclipsing variables (CEV) has been collected and procedure for the classification (i.e. determination of evolutionary class) of eclipsing binaries has been developed.

The new method has been applied to the previously unclassified CEV binaries.

Catalogue CEV represents the largest list to date of eclipsing binaries classified from observations. It can be used for the comprehensive investigation of eclipsing binaries and processes of their evolution.

New classification procedure allows to determine the evolutionary classes for the eclipsing binaries which are found as by-products of microlensing surveys and discovered in all-sky

photometric surveys. Also it can be used for discovering of new interesting stars on the rare evolutionary stages.

Catalogue CEV is available in electronic form at the CDS via anonymous ftp:

<ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/J/AN/334/860>.

3. Ключевые слова:

Звезды: двойные системы, затменные двойные звезды: наблюдаемые характеристики, тесные двойные системы: эволюция

Stars: eclipsing binaries: observational parameters, close binary stars: evolution

4. Тема отчета:

Исследование наблюдаемого распределения параметров тесных двойных звезд различных эволюционных классов

The investigation of the distribution of observable parameters of close binary stars of different evolutionary types.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Основная часть.....	8
Заключение.....	9
Список использованных источников.....	11
Приложение А.....	12

## ВВЕДЕНИЕ

Двойные звезды весьма многочисленны и являются одним из немногих источников астрофизической информации об основных звездных параметрах. Наиболее важный параметр, характеризующий эволюцию звезды – масса, может быть с высокой точностью определен для компонентов двойных систем. Наблюдения двойных систем различными методами напрямую позволяют оценить радиусы, температуры и светимости компонентов, следовательно, связать между собой массы и наблюдаемые значения остальных параметров и перенести их на определение физических характеристик одиночных звезд.

Наблюдаемое разнообразие двойных звезд можно разделить на несколько классов в зависимости от методов, которыми открыта или исследуется двойственность объекта (астрометрические, спектроскопические, фотометрические и т.д.). Каждый из методов наблюдения и изучения систем предоставляет определенный набор данных, например, параметры орбиты, массы и другие характеристики компонентов. С точки зрения полноты информации наиболее интересными являются затменные переменные системы, которые одновременно наблюдаются как спектроскопические двойные звезды. Именно совокупность фотометрических и спектральных наблюдений позволяет получать полный набор физических характеристик компонентов пары.

Возникновение затмений в двойной системе накладывает на ориентацию орбиты и расстояние между компонентами пары достаточно сильные ограничения: чем шире пара, тем меньше плоскость орбиты должна отклоняться от луча зрения. Это приводит к тому, что большинство затменных систем относят к тесным парам, в которых эволюция одного из компонентов рано или поздно начинает влиять на эволюцию другого. Компонентами затменных тесных пар являются звезды самых разнообразных физических свойств, взаимодействие между ними приводит к возникновению эволюционных стадий, которые просто невозможны в случае одиночных звезд.

Исследование эволюции и физических параметров тесных двойных систем необходимо для проверки теории образования и эволюции звезд, дает возможность изучать строение звездных атмосфер, процессы аккреции, объяснять многообразие наблюдаемых типов звезд.

Динамическая эволюция тесной двойной системы в целом может быть описана через решение ограниченной задачи трех тел. Основы такого подхода были заложены в работах Kuiper [1] и Kopal [2]. В этом случае выделяют три основных этапа эволюции и, следовательно, три типа двойных систем:

– разделенные пары, в которых оба компонента находятся внутри своих критических поверхностей Роша, и эволюция каждого из них может быть описана как эволюция одиночной звезды;

– полуразделенные пары, в которых один из компонентов заполняет свою полость Роша, и вещество его поверхности может быть захвачено гравитационным полем спутника, в результате возникает процесс переноса массы с одного компонента на другой;

– контактные системы, в которых оба компонента заполняют свои критические полости Роша.

Появление такого способа описания двойных систем позволило перейти к решению обратной задачи при анализе наблюдений затменных звезд и разработать ряд математических моделей для систем, содержащих компоненты разных физических свойств. История развития методов и обзор современных способов анализа наблюдений в рамках как простой модели двойной системы, так и моделей, учитывающих физические эффекты, возникающие в ходе эволюции компонентов пары, а также свойства орбиты двойной, можно найти в обзоре Wilson [3].

Наблюдаемые эволюционные стадии двойных систем не могут быть объяснены только в рамках геометрической модели. Кроме того, простое геометрическое описание не позволяет построить непрерывную самосогласованную эволюционную последовательность, которая включала бы все известные типы тесных двойных звезд.

Одна из первых физических теорий эволюции компонентов в тесных парах была предложена Свечниковым в работах [4-5]. Данная схема объединяет наблюдаемые характеристики систем, а именно положение компонентов на диаграмме цвет – звездная величина, с геометрическим описанием положения компонентов внутри критических полостей Роша. Предложенная схема позволила выделить среди разделенных, полуразделенных и контактных систем подклассы, объединенные физическими свойствами компонентов (например, контактные системы поздних и ранних спектральных классов). Появилась возможность по результатам анализа совокупности наблюдаемых характеристик (кривые лучевых скоростей, спектры, кривые изменения блеска) определять стадию эволюции, на которой находится конкретная система.

Исследования большого количества двойных систем, компоненты которых находятся на различных этапах эволюции, позволяют построить статистические или функциональные зависимости, связывающие эволюционный статус системы и физические характеристики ее компонентов. Таким образом, при достаточном количестве исследованных звезд возможно решение "обратной" задачи: если известно, на какой стадии эволюции находится двойная система, можно достаточно просто получить оценки физических

параметров компонентов. Такая задача является актуальной, поскольку число открытых затменных систем увеличивается достаточно быстро благодаря многочисленным обзорам неба (OGLE, MACHO, ASAS-3 и т.д.). Для подавляющего большинства из них известен ограниченный набор наблюдаемых параметров, исследовать все такие системы привычными способами (анализ кривых лучевых скоростей и кривых изменений блеска) не представляется возможным. Это приводит к необходимости разработки способов определения эволюционного класса независимым способом. Решение задачи позволит:

- определить физические параметры большого количества звезд;
- уточнить функциональные зависимости, связывающие эволюционные стадии двойных систем и физические параметры их компонентов.

Один из таких способов был предложен Свечниковым и др. [6]: физическая классификация затменных переменных звезд по ограниченному набору только наблюдаемых параметров систем. Схема классификации была разработана на основе статистического анализа данных каталога [4] и связала между собой эволюционные классы двойных звезд с амплитудами минимумов кривой блеска, периодом и спектральным классом более яркого компонента. Простые критерии классификации были составлены на основе информации о 367 системах.

За последние 30 лет открыто и исследовано большое количество тесных двойных систем, наблюдаемые параметры которых и/или эволюционные стадии остаются за пределами предложенной схемы (например, рентгеновские массивные и рентгеновские маломассивные системы). Таким образом, необходима разработка новой системы определения эволюционного класса двойных на основе наблюдаемых характеристик.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Содержание основной части отчета полностью соответствует автореферату диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия. Автореферат содержится в приложении А к настоящему отчету.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянно возрастающее число открытых затменных переменных систем и потребность в определении их эволюционного статуса на основе ограниченного набора только наблюдаемых параметров приводит к необходимости усовершенствования схемы классификации двойных звезд, предложенной в работе [6]. При этом способ классификации должен быть разработан на основе большой выборки (каталога) затменных переменных систем с известным эволюционным классом.

В рамках данной работы:

- составлен каталог наблюдаемых параметров затменных переменных звезд, содержащий также эволюционные типы систем, определенные независимыми методами. Каталог содержит значения наблюдаемых характеристик для 7191 двойной системы.
- Проведен статистический анализ данных каталога. Исследованы распределения систем различных эволюционных классов в зависимости от их наблюдаемых параметров: амплитуд главного и вторичного минимумов, периодов, спектральных классов. Также рассмотрены распределения систем в зависимости от морфологии наблюдаемых кривых блеска и их характеристик, таких как продолжительность затмений и фаза вторичного затмения. В результате анализа данных каталога предложены критерии классификации затменных переменных систем.
- Предложенные критерии классификации применены к классифицированным системам каталога для проверки их эффективности, а также к неклассифицированным системам каталога. Показано, что эффективность критериев зависит от нескольких факторов, определяющим из которых является количество параметров, используемых для классификации. При использовании полного набора параметров: амплитуд изменения блеска, орбитального периода и спектральных классов обоих компонентов уверенно классифицировано до 80% затменных переменных систем.

Также в результате анализа данных о классифицированных системах каталога последующей классификации затменных переменных систем составлены:

- список систем, которые по данным различных исследователей не являются затменными.
- Список систем, определение эволюционного класса которых затруднительно на основе имеющихся фотометрических и спектральных данных.

- Список маргинальных систем. Включенные в него системы могут находиться на интересных стадиях эволюции, требуют отдельных исследований, могут быть использованы как критические тесты для проверки теорий звездной эволюции, а также в будущем могут быть выделены в отдельные эволюционные классы.

Созданный каталог наблюдаемых параметров затменных переменных звезд может быть использован для всестороннего (в т.ч. статистического) изучения таких систем, для планирования наблюдений, а полученные критерии классификации – для определения эволюционного класса (т.е. стадии эволюции каждого из компонентов двойной системы) затменных переменных звезд, обнаруженных в рамках больших обзоров неба.

Электронная версия каталога размещена в сети интернет по адресу

<ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/J/AN/334/860>.

Результаты работы:

1. представлены к защите в виде диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.
2. Приняты к публикации Avvakumova E. A., Malkov O. Yu. Classification of eclipsing binaries: main results and problems / Astronomical and Astrophysical Transactions. – 2013. – Vol. 28, № 3.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Kuiper G. P. On the interpretation of beta Lyrae and other close binaries // *Astrophys. J.* – 1941. – Vol. 93. – P. 133.
- 2 Kopal Z. Close binary systems. – London : Chapman and Hall, 1959.
- 3 Wilson R. E. Binary-star light curve models // *Publ. Astron. Soc. Pac.* – 1994. – Vol. 106. – P. 921.
- 4 Свечников М. А. Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд. – Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1969.
- 5 Свечников М. А. Характеристики и эволюция тесных двойных систем // *Явления нестационарности и звездная эволюция* / ред. Боярчук А. А. и Ефремов Ю. Н. – М. : Наука, 1974.
- 6 Свечников М. А. Разработка и применение простых критериев для массовой классификации затменных переменных звезд. I. Разработка критериев для массовой классификации затменных переменных звезд // *Переменные звезды.* – 1980. – Т. 21. – С. 399.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук